Revista CIENCIA **Vol.19, 4, 503-515 (2017)**

NUMERICAL / EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE MATRIX COMPOUND REINFORCED POLYESTER WITH RICE KNOCK

Cristian Pérez, Juan Paredes, Edisson Lalaleo, César Arroba, Diego Núñez

Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
cf.perez@uta.edu.ec

Received: July 2017. Accepted: November 2017

ABSTRACT

Current research into composite materials tends to replace traditional materials with plastics reinforced with natural fibers, FN, for economic production purposes and eco-friendly reuse. Green compounds have increased their applications in the automotive and construction industry due for their good mechanical properties. The present investigation is based on the characterization of the polyester matrix composite material reinforced with rice husks, CCA. It was analyzed under two conditions; The CCA Type-A in its natural condition, and the CCA Type-B, husk cut longitudinally. A manual compression stratification and different volumetric fractions (12% CCA, 14.5% and 17%) were applied to each type of fiber in order to obtain the best material. The imported Gypsum, CCG, was chosen as a material for comparative purposes to evidence improvement. The results show that the 17% CCA Type-B had superior tensile and flexural strength, the modulus of elasticity was 7955 MPa and flexural modulus 3772, being 16 and 8 times higher respectively. Finite element simulation (MEF) was used to compare results obtained with real experimentation. Finally SEM was verified its capacity of adhesion, its distribution and defectology..

Keywords: Natural fiber, Green compound, Characterization, Stratification, volumetric fraction, defectology.

ANÁLISIS NUMÉRICO/EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ

RESUMEN

La investigación actual en materiales compuestos tiende a sustituir materiales tradicionales por plásticos reforzados con fibras naturales, FN, con fines económicos de producción y reutilización eco-amigable. Los compuestos verdes han incrementado sus aplicaciones en la industria automotriz y de la construcción

debido sus buenas propiedades mecánicas. La presente investigación se basa en la caracterización del material compuesto de matriz poliéster reforzada con cascarilla de arroz, CCA. Se analizó en dos condiciones; el CCA Tipo-A en su condición natural, y el CCA Tipo-B, cascarilla cortada en forma longitudinal. Se aplicaron a cada tipo de fibra una estratificación manual por compresión y distintas fracciones volumétrica (CCA al 12%, 14.5% y 17%) con el fin de obtener el mejor material. Se eligió al Gypsum importado, CCG, como un material con fines comparativos para evidenciar la mejoría. Los resultados revelan que el CCA Tipo-B al 17% presentó una resistencia a la tracción y flexión superior, el módulo de elasticidad fue de 7955 MPa y el módulo de flexión 3772, siendo respectivamente 16 y 8 veces mayor. Se empleó simulación por elementos finitos (MEF) para comparar resultados obtenidos con la experimentación real. Finalmente se verificó por SEM su capacidad de adherencia, su distribución y defectología.

Palabras claves: Fibra natural, Compuesto verde, Caracterización, Estratificación, fracción volumétrica, defectología.

1. INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos se han destacado hace unas décadas debido a su superioridad en propiedades mecánicas, como resultado de la creciente demanda de la industria para materiales de alto rendimiento (Zhang, Zhong, & Ren, 2017). Un material compuesto consiste en la combinación a nivel macroscópico de dos o más componentes no solubles entre ellos que se unen sinérgicamente, obteniéndose un material con una mayor capacidad estructural que la de sus constituyentes cuando actúan por separado. La fase denominada refuerzo, la más rígida y resistente es normalmente discontinua y se presenta en forma de partículas o en forma de fibras continuas o discontinuas, largas o cortas, en una o varias direcciones, distribuidas uniforme o aleatoriamente. El refuerzo se halla embebido en un material continuo denominado matriz, que actúa como aglutinante, protector y se encarga de repartir y trasmitir las cargas al refuerzo (Peters, 1998). Las propiedades mecánicas del material compuesto dependerán esencialmente de las propiedades de los materiales constituyentes, de su geometría, de su distribución y de su fracción volumétrica.

Los materiales compuestos con fines estructurales se pueden clasificar según el tipo de refuerzo y según el tipo de matriz. Según el tipo de matriz, un material puede ser de: matriz metálica, matriz cerámica y matriz polimérica. Según el tipo de refuerzo, se clasifican en tres grupos: materiales compuestos reforzados con partículas, reforzados con fibras y compuestos estructurales (Ševĉik, Lepšík, Petrů, Mašín, & Martonka, 2014). La aplicación del material compuesto en esta investigación, selecciona una matriz termoestable reforzada con elementos particulados. En compuestos de matriz termoestable, las fibras se impregnan con resinas termo endurecibles y luego se mantienen para curar a temperatura ambiente o temperatura elevada mediante el moldeo manual, a compresión e infusión al vacío para obtener componentes de alto rendimiento (Friedrich, Chang, & Haupert, 2011).

Por otro lado, la mejor manera en que el ambiente se puede conservar es mediante el uso de materiales renovables no tóxicos y biodegradables. Esta

conciencia ambiental en todo el mundo ha llevado a la investigación y desarrollo de la próxima generación de materiales, productos y procesos a un costo aceptable (Oktaee *et al*., 2017). Esta toma de conciencia despertó el interés por materiales que pueden ser procesados con menor energía, tales como compuestos de fibra natural. En cuanto al uso global de fibras naturales, Europa es el mayor consumidor, y Asia se está convirtiendo en un gran mercado para las fibras naturales debido a la creciente demanda tanto en China como en la India. El mercado mundial de compuesto de fibra natural había alcanzado los US $289,3 millones en 2010, con una tasa de crecimiento anual de 15% desde 2005 adelante. Para el año 2016, el mercado de fibra natural alcanzó US $ 550 millones (Misra, Pandey, & Mohanty, 2015).

Son innumerables los tipos de plantas vasculares a nivel mundial, muchas de ellas se pueden encontrar en diferentes países y otras son propias de cada sitio (Bismarck, Baltazar-Y-Jimenez, & Sarikakis, 2006). El Ecuador como país, tiene en su territorio registrado cerda de 25 mil especies de plantas de este tipo, de esta cantidad solo 25 son especies producidas y utilizadas comercialmente. Entre ellas se cuenta a la cabuya, totora, abacá, paja toquilla, algodón, lufa, seda, bambú, y mimbre. En la Tabla I se indica las propiedades mecánicas de fibras naturales relevantes estudiadas a nivel nacional como a nivel mundial.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de fibras naturales (Chung, 2010; Dávila *et al*., 2011; Fajardo, Valarezo, López, & Sarmiento, 2013)

Material	Densidad (g/cm^3)	Resistencia a tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Elongación a la ruptura (%)
Abacá	1.5	400-980	6.2-20	1.0-10
Bambú	0.6-1.1	140-800	11-32	2.5-3.7
Algodón	1.5-1.6	287-800	5.5-12.6	3-10
Yute	1.3-1.49	400-800	10-30	1-1.8
Sisal	1.33-1.5	363-700	9.0-38	2.0-7.0
Coco	1.15-1.50	95-149	2.8-13.7	3.3-5.1
Linaza	1.4	800-1500	60-80	1.2-1.6
Cáñamo	1.48	550-900	70	1.6
Ramio	1.5	500	44	2.0
Sisal	1.33	600-700	38	2.0-3.0

La inclusión de la paja de arroz (PA) y la cáscara de arroz (CA) en compuestos poliméricos reduce la contaminación ambiental y se utiliza sus residuos como un recurso para generar ingresos. Una tendencia a utilizar la paja de arroz y la fibra de cáscara de arroz en lugar de la madera ahorrará los recursos de madera y petróleo existentes. Los principales usos industriales de PA/CA se encuentran en las industrias del papel, la combustión para la generación de energía, vivienda, muebles y embalajes (Buzarovska *et al.*, 2008). Se emplea principalmente en forma de tablero con partículas de fibra de arroz de media y alta densidad con yeso para paneles de pared y techo; esto contempla un uso mayor que tiende a la escala industrial. La tendencia de uso de este compuesto a nivel mundial tiene diferentes fines. En Estados Unidos y Asia, los productos de cubierta y ferrocarril dominan el mercado, mientras que en Europa se hace hincapié en las piezas de automoción, como tableros de instrumentos y techos de automóviles (Bassyouni & Waheed Ul Hasan, 2015).

En lo que concierne a la relación de aspecto para una fibra (longitud / diámetro), es un factor importante que influye en las propiedades mecánicas de los compuestos; por lo tanto difiere su aplicabilidad. Se puede decir que fibras largas se emplean como refuerzos de partes y piezas estructurales, por lo contrario una fibra corta se empleará en aplicaciones no estructurales como por ejemplo acabados de la construcción. En un compuesto de fibras cortas, la carga de tracción se transfiere a una fibra de la matriz a través de cizallamiento. En los extremos de la fibra, la tensión de tracción es cero y aumenta a lo largo de la longitud de la fibra (Matthews & Rawlings, 1999). La dispersión de fibra se ha identificado como un factor importante que influye en las propiedades de los compuestos de fibra corta y un desafío particular para este tipo de material compuesto, que comúnmente tienen fibras hidrófilas y matrices hidrofóbicas (Pickering, Efendy, & Le, 2016). Entre más alargado sea la fibra puede aumentar aún más su tendencia a aglomerarse. Una buena dispersión de fibra promueve una buena unión interfacial (Mohammed, Ansari, Pua, Jawaid, & Islam, 2015). La dispersión puede ser influenciada por parámetros de procesamiento tales como temperatura y presión; Se han utilizado aditivos como el ácido esteárico en PP y PE para modificar la dispersión, así como los utilizados para aumentar el enlace interfacial (Pickering et al., 2016). Se ha encontrado que la paja de arroz y los compuestos de cáscara de arroz presentan diferentes propiedades mecánicas. Un aumento en la carga de la paja de arroz disminuye la resistencia a la tracción de una manera similar a la encontrada en otros compuestos naturales de fibra, ya que los altos niveles de carga producen aglomeración de la fibra. A una carga de fibra dada, el aumento del tamaño de partícula de la paja de arroz conduce a una mayor resistencia a la tracción del compuesto (Bassyouni & Waheed Ul Hasan, 2015; Najafi & Khademi-Eslam, 2011).

Por todo lo mencionado, este trabajo se basa en la caracterización de un material compuesto a partir de la reutilización de una fibra natural corta, CA, como refuerzo en una matriz de resina poliéster, para una posible aplicación en el campo de la construcción; a sabiendas que el Gymsum es un material compuesto liviano en forma de plancha constituido por yeso y un refuerzo natural como el carrizo o sintético como la fibra de vidrio; se lo toma como referencia para fines comparativos. Tal material tiene la fama de presentar una gran fragilidad, lo que se traduce en una baja resistencia a cargas de tracción y flexión (García Santos, Gonzalez, Javier, & Oliver Ramírez, 2011).

2. METODOLOGÍA

2.1. Materiales y equipos.

Se utilizó la cascarilla de arroz como refuerzo del material compuesto. La cascarilla de arroz está compuesta por celulosa y sílice, tiene la forma de grano cariópside con una longitud que varía de 5 a 11 mm, con un ancho de 2 a 4 mm, con una dureza de 6 en la escala de Mohs. La misma que se obtuvo de la provincia del Guayas por tener una producción de 1.029.783 Tm con un rendimiento del 4,34 Tm/Ha de acuerdo a la estadística del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). Se empleó dos tipos de refuerzo: tipo A (condiciones naturales), tipo B (cortes longitudinales).

Como matriz termoestable se utilizó resina poliéster insaturada tipo orto-tere ftálica, pre-acelerada y tixotrópica de marca SINTAPOL 999, para el curado de la misma se empleó el catalizador peróxido de metil-etil cetona (MEKP). Como agente de desmolde se aplicó cera desmoldante Moulder Wax.

Las probetas de material compuesto se obtuvieron mediante la estratificación: manual y compresión. Se fabricó un molde acero de tipo macho-hembra en base al número de probetas y de acuerdo a la norma ASTM D.

Para la caracterización de probetas tanto para los ensayos de tracción como flexión se utilizó una máquina universal de 50 KN para materiales poliméricos, cerámicos, compuestos, Metrotec Serie MTE50. Los ensayos de impacto se realizaron en la máquina de impacto por caída de dardos para polímeros. Adicionalmente se usó la balanza analítica, calibrador, flexo metro.

2.2. Metodología experimental.

Se fabricó un molde acero ASTM A-36 para elaborar probetas de material compuesto para ensayos mecánicos de tracción, flexión e impacto de acuerdo a las normas ASTM D3039-08, ASTM D7264M-07 y ASTM D5628-10 respectivamente. Las dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción fueron 250x25x5 mm, para los ensayos de flexión 160x13x5 mm y para los ensayos de impacto se utilizó la geometría FE de 58 mm de lado y espesor 5 mm.

Para la obtención de las probetas del material compuesto en los diferentes ensayos, se utilizó la estratificación: manual y por compresión. Previamente se realizó una limpieza del molde para posteriormente aplicar cera desmoldante con el fin de facilitar la extracción de la probeta. Mediante una balanza electrónica, pesamos la cantidad de masa del refuerzo. Con la ayuda de un vaso de precipitación de 250 mL cuantificamos el volumen de resina poliéster en función de las fracciones volumétricas de la matriz. Se utiliza una jeringuilla para determinar el volumen de MEKP, el cual debe ser el 1,5% del volumen de la resina poliéster. Mezclamos la matriz (resina poliéster) + refuerzo (cascarilla de arroz) durante 4 minutos para obtener una composición homogénea. Vertimos y extendemos la mezcla dentro del molde. Para la estratificación a compresión se aplicó una presión de 1250 psi. Transcurrido las 24 horas, se procede a desmoldar el material compuesto. Los materiales obtenidos se muestran en la Tabla II.

Tabla 2. Constituyentes del material compuesto.

Refuerzo	Fracción volumétrica		Tipo de estratificación
	Refuerzo%	Matriz%	
Tipo A: Condiciones naturales	12 14.5 17	88 85.5 83	Manual Compresión
Tipo B: Cortes longitudinales	12 14.5 17	88 85.5 83	Manual Compresión

Para el ensayo de tracción, Se utilizó 6 probetas en base del tipo de estratificación, fracciones volumétricas basadas en la norma ASTM D3039-08. A

cada probeta se aplica una carga a una velocidad constante de 5 mm/min (D3039 ASTM, 2008), lo cual produce la ruptura de la probeta ensayada, donde se reduce la sección transversal (menor a la original) permitiendo determinar el área y la carga máxima. Para la ejecución del ensayo a tracción, se realizaron las siguientes combinaciones presentes en la Tabla III. La norma ASTM D7264M-07, se utilizó para la determinación del esfuerzo máximo a flexión, para lo cual se utilizó la misma cantidad de probetas con combinaciones que fueron sometidas a una velocidad de carga de 1 mm/min (D7264 ASTM, 2007).

Tabla 3. Combinaciones del material compuesto: ensayo a tracción.

#	Refuerzo	Fracción Volumétrica	Estratificación	# de Probetas
1	Tipo A	12 %	Manual Compresión	6
		14.5%		6
		17%		6
2	Tipo B	12%	Manual Compresión	6
		14.5%		6
		17%		6
			Total	36

De las probetas que reflejaron óptimos resultados en los ensayos de tracción y flexión, se empleó probetas con la misma combinación para someterlas a un test de impacto en función de las condiciones establecidas en la Norma ASTM D5628 (D5628 ASTM, 2010). Cada probeta se sometió a impacto de dardo a diferentes alturas, partiendo de una altura inicial de 300 mm hasta determinar la máxima altura de ruptura o fractura de impacto.

Se realizó el análisis topográfico del material compuesto con la utilización de la técnica de microscopía Electrónica de barrido TESCAN modelo VEGA 3 SBU. El ensayo fue realizado a la mejor configuración de acuerdo a sus propiedades mecánicas previamente realizadas, en este caso al material compuesto de 17% de refuerzo de cascarilla de arroz con 83% de matriz poliéster, las muestras se analizaron una probeta de cada lote. Se utilizó el método bajo vacío, debido a que la muestra no es conductora en su estado no revestido natural. Este método permite la obtención de excelentes imágenes ópticas con una claridad sofisticada mediante los siguientes parámetros que se muestran en la Tabla IV.

Tabla 4. Parámetros del microscopio electrónico de barrido Tescan.

Denominación	Nomenclatura	Parámetros
Modo Bajo vacío	BSE	3.5 nm a 30 Kv
Voltaje de aceleración	HV	3,00 Kv
Aumento		250x
Campo de visión	WD	20 mm
Presión de Vacío		15 Pa

Posteriormente se realizó el análisis por el método de elemento finitos (MEF), con el propósito de comparar los resultados obtenidos del ensayo de tracción real con el simulado. Se elaboró una geometría de probeta de 250x25x5

mm en el mismo software ANSYS. El análisis fue estático dentro del rango elástico utilizando un elemento SHELL 181 por ser adecuado para análisis de estructuras laminares delgadas. Como condiciones de frontera en la simulación, la parte inferior de la probeta se lo fijo (empotro), mientras que en la parte superior se aplicó una fuerza nodal de 1747 N, como se muestra en la Figura 1.

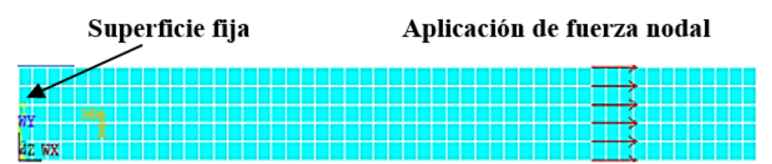


Figura 1. Probeta a carga de tensión.

El modelo del material fue establecido como orto-trópico, debido a su comportamiento que se observa en la curva esfuerzo-deformación de las pruebas experimentales, con lo cual se realiza el modelado de la probeta, para lo cual tienen los siguientes parámetros que se muestran en la Tabla V.

Tabla 5. Parámetros de ingreso para la simulación del material compuesto

Descripción	Valor	Correspondencia
Módulo de elasticidad: EX, EY	7955 MPa	Material compuesto
Módulo de elasticidad: EZ	2610 MPa	Resina poliéster
Coeficiente de Poisson XY	0.35	Material compuesto
Coeficiente de Poisson: YZ, XZ	0.2	Resina poliéster
Módulo de corte GXY,	2920 MPa	Material compuesto
Módulo de corte GYZ, GXZ	1090 MPa	Resina poliéster
Carga máxima	1747 N	

3. RESULTADOS

3.1. Ensayo a tracción

Con lo que respecta a la resistencia máxima a la tracción, en la Figura 2, se muestra el esfuerzo máximo de los materiales compuestos en función de la fracción volumétrica de fibra.

Es destacable mencionar que el material compuesto fabricado: Tipo B (cortes longitudinales)-Compresión-17% CA (cascarilla de arroz)+83% RP (resina poliéster), presentó una resistencia a la tracción de aproximadamente 15.45 MPa con un módulo de elasticidad 7955 MPa, valores superiores al reportado del Gypsum (esfuerzo máximo 0.92 MPa, módulo de elasticidad 496.78 MPa).

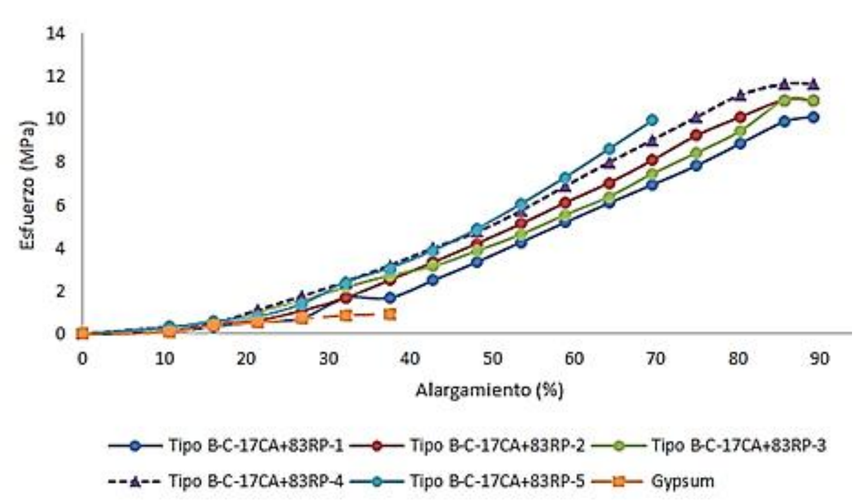


Figura 2. Curva esfuerzo vs alargamiento a tracción de los materiales compuestos.

3.2. Ensayo a flexión

Respecto a la flexión, el esfuerzo máximo a la flexión a tres puntos, se puede constatar en la Figura 3, un aumento significativo del esfuerzo máximo a la flexión en un rango del 60 al 72%. Cabe resaltar que el esfuerzo máximo a la flexión del compuesto: Tipo B (cortes longitudinales)-Compresión-17% CA (cascarilla de arroz) + 83% RP (resina poliéster) es de 0.67 MPa superior en un 30% del Gypsum (0.21MPa).

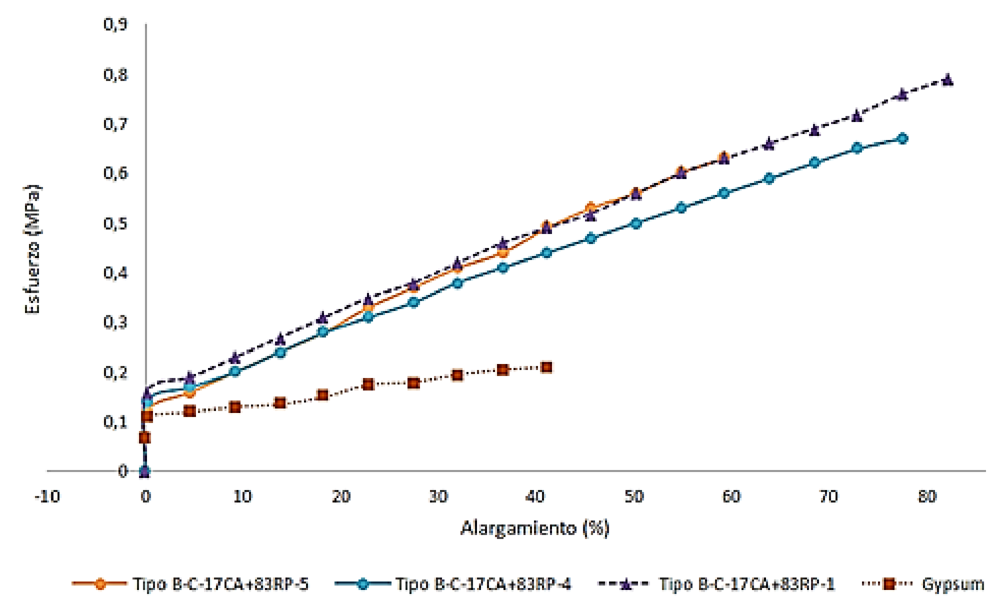


Figura 3. Curva esfuerzo vs alargamiento a flexión de los materiales compuestos.

Las propiedades mecánicas obtenidas mediante el ensayo a tracción y flexión se muestran en la Tabla 7; así como también las propiedades del Gymsum por efectos comparativos:

Tabla 7. Propiedades mecánicas de los materiales ensayados

Material		CA	CG
Tracción	Carga máxima (N)	1739,67	208,71
	Esfuerzo máximo (MPa)	15,45	0,92
	Módulo de Elasticidad (MPa)	7955,01	496,78
	Deformación (%)	1,42	2,29
Flexión	Carga máxima (N)	52,65	23,61
	Esfuerzo máximo (MPa)	0,67	0,21
	Módulo de Flexión (MPa)	3772,19	510,75
	Deflexión (%)	3,37	2,84
Impacto	Altura de lanzamiento (mm)	450	437
	Resistencia Máxima al Impacto. MEF=hwf (J)	1,26	1,22

3.3. Ensayo de impacto

De los ensayos de impacto se pudo determinar que el material compuesto: Tipo B (cortes longitudinales)-Compresión-17% CA (cascarilla de arroz) + 83% RP (resina poliéster) absorbió 58% más de energía que el Gymsum importado de yeso, como se muestra en la Figura 4.

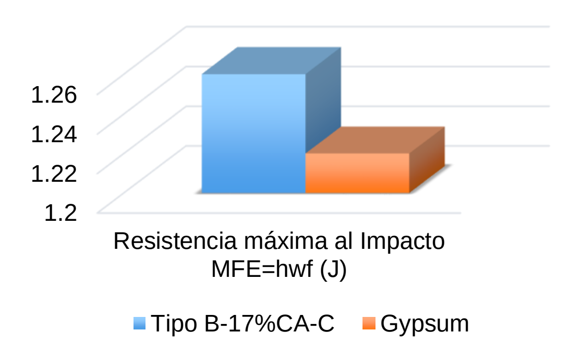


Figura 4. Resistencia al Impacto MFE= hwf (J).

3.4. Ensayo de fractografía

En la Figura 5 se ilustra la distribución de la matriz (resina poliéster) sobre el refuerzo (cascarilla de arroz). Se presenta una vista al microscopio de la topología de la superficie del material en la cual; se evidencia la presencia de agujeros de 0.37 mm de diámetro aproximadamente, convirtiéndose en factores que disminuyen las propiedades mecánicas.

Por otro lado, estas aberturas podrían traer problemas contra la absorción de humedad, preocupación crítica actual de los compuestos naturales especialmente por su potencial uso al aire libre en la construcción de aplicaciones (Chen et al., 2015). Se conoce que la cáscara del arroz contiene una cantidad importante de sílice, que le da cierta resistencia a la biodegradación y a la penetración de la humedad (Ryu, Kim, & Kang, 1997). Además, tratamientos superficiales con hidróxido de sodio, benzol son aplicadas a la PA y a la CA, con anhídrido maleico utilizado como agente de acoplamiento, aumentan la resistencia al agua y la estabilidad térmica del material compuesto (Bassyouni & Waheed Ul Hasan, 2015).

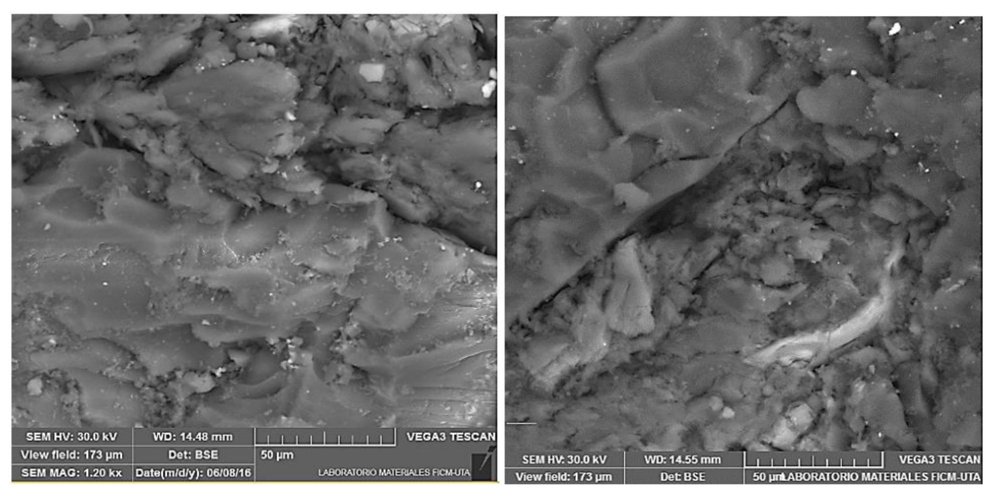


Figura 5. Distribución de la matriz sobre el refuerzo.

Todos estos aspectos importantes son estudiados ampliamente en compuestos con termoplásticos, pero muy poco se conoce el efecto con compuestos termoestables. Este análisis no fue parte de este estudio, lo que genera la necesidad de una investigación posterior.

3.5. Simulación por el Método de Elemento Finito (MEF) del Ensayo a Tracción.

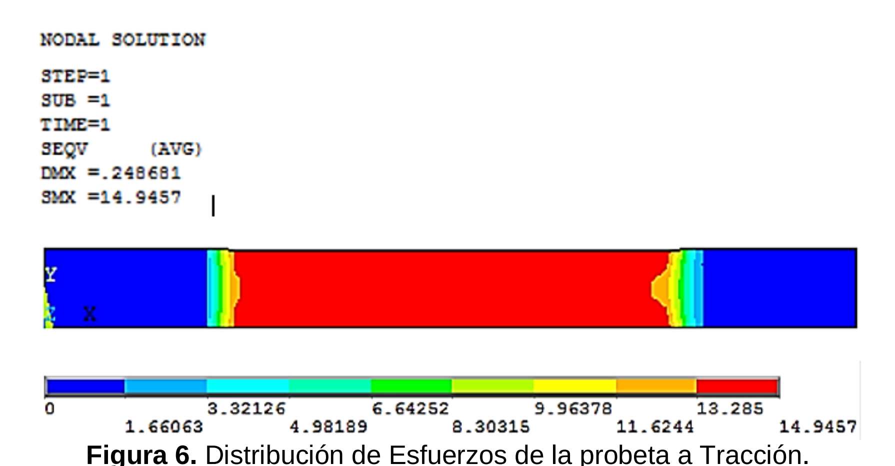


Figura 6. Distribución de Esfuerzos de la probeta a Tracción.

Se evidencia mediante el Ensayo de Tracción y la Simulación de Elementos Finitos, que el esfuerzo máximo del material compuesto: Tipo B (cortes longitudinales)-Compresión-17% CA (cascarilla de arroz) + 83% RP (resina poliéster) tiene un porcentaje de error del 3.25%, como se mostró en la Figura 6.

4. DISCUSIÓN

Las pruebas mecánicas tienen una enorme importancia a la hora del diseño y en el proceso de la selección de materiales. Se conoce que la diferencia referente a la resistencia a la tracción entre las fibras largas y las fibras cortas como la cascarilla de arroz es grandes. Una fibra de abacá, yute, linaza entre otros son excelentes para aplicaciones sometidos a esfuerzos de tracción y flexión porque presentan los valores más altos de resistencia, pero en condiciones normales todavía no supera al material tradicional como lo es la fibra de vidrio. Se ha demostrado que en forma hibrida si lo supera; es decir combinación de capas de fibra natural y fibra de vidrio (Salinas, Salinas, & Miniguano, 2017).

Con el antecedente que las fibras cortas no son aplicables a elementos estructurales, en este estudio se comparó el compuesto con cascarilla de arroz con un material tradicional como lo es el Gypsum importado. Mecánicamente se logró superar a dicho material como se mostró en los resultados; inclusive el costo de obtención del compuesto es menor en aproximadamente un 30%, al eliminar el proceso tecnológico de obtención de la fibra de vidrio. La ventaja económica reside porque la fibra natural al ser un residuo de cosecha soló requiere tratarlo para obtener en forma de partícula; a esto agregar que la resina poliéster posee un bajo costo.

La prueba de humedad será importante explorarla en este compuesto para una potencial aplicación a la intemperie, por lo que el compuesto CCA analizado en este estudio puede ser considerado para aplicaciones de la construcción en interiores.

Este es un muy buen punto de partida para continuar explorando este material y similares, con el objetivo de tener un enfoque mayor a su aplicación específica; como por ejemplo, el estudio sobre la facilidad de manufactura para la obtención rápida de fibras, posibilidad de extrusión, comportamiento ante la humedad, etc., ampliará su conocimiento y ayudarán a definir muchas más aplicaciones, como también influiría en la decisión de su utilización o no.

5. CONCLUSIONES

Los resultados revelan que el material compuesto: Tipo B (cortes longitudinales)-Compresión-17% de CA + 83% RP (resina poliéster), presenta un comportamiento mecánico superior a la del Gypsum. Esto se refleja sustancialmente en los resultados del Test de Tracción, en los datos finales del

ensayo de flexión, este material propuesto es superior en poco más del 50% y algo mejor frente a la capacidad energética de impacto.

El módulo de elasticidad del material compuesto: Tipo B (cortes longitudinales)-Compresión-17% de CA + 83% RP (resina poliéster) es de 7955 MPa, que corresponde a una mejoría del 65% respecto al del Gypsum.

La etapa de ensayos a nivel probeta de material compuesto ha presentado resultados interesantes que lo hace un buen candidato a sustituir el Gypsum, y en general posee óptimas propiedades mecánicas luego de ser sometidas a los ensayos de Tracción, Flexión e Impacto.

Como se indicó en la parte introductoria, las fibras naturales cortas como CA, no se utilizan con frecuencia en aplicaciones estructurales, sino más bien en aplicaciones de bajo comportamiento mecánico como en el ámbito arquitectónico o de acabado constructivo, empaquetamiento, papelería e insonorización por medio de paneles en automotores, por tal razón con este estudio, se concluye que el CCA con la estratificación mejorada es un potencial reemplazo para el Gymsum importado.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad técnica de Ambato por su valiosa colaboración para la realización del presente estudio.

REFERENCIAS

ASTM, D. (2007). Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials. *ASTM International*(West Conshohocken). doi: 10.1520/D7264_D7264M-07

ASTM, D. (2008). Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. *ASTM International, West Conshohocken, PA,*. doi: 10.1520/D0638-08

ASTM, D. (2010). Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass). *ASTM International, West Conshohocken, PA,*. doi: 10.1520/D5628-10

Bassyouni, M., & Waheed Ul Hasan, S. (2015). The use of rice straw and husk fibers as reinforcements in composites. *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, 385-422.

Bismarck, A., Baltazar-Y-Jimenez, A., & Sarikakis, K. (2006). Green composites as panacea? Socio-economic aspects of green materials. *Environment, Development and Sustainability, 8*(3), 445-463.

Buzarovska, A., Bogoeva, G., Grozdanov, A., Avella, M., Gentile, G., & Errico, M. (2008). Potential use of rice straw as filler in eco-composite materials. *Australian Journal of Crop Science, 1*(2), 37-42.

Chen, R. S., Ghani, A., Hafizuddin, M., Salleh, M. N., Ahmad, S., & Tarawneh, M. a. A. (2015). Mechanical, water absorption, and morphology of recycled polymer blend rice husk flour biocomposites. *Journal of Applied Polymer Science, 132*(8).

Chung, D. D. (2010). *Composite materials: science and applications*: Springer Science & Business Media.

Dávila, J. L., Galeas, S., Guerrero, V. H., Pontón, P., Rosas, N. M., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales: QUITO/IMPREFEPP/2011.

Fajardo, J., Valarezo, L., López, L., & Sarmiento, A. (2013). Experiencies in obtaining polymeric composites reinforced with natural fiber from Ecuador. *Ingenius: Revista de Ciencia y Tecnología*(9).

Friedrich, K., Chang, L., & Haupert, F. (2011). Current and future applications of polymer composites in the field of tribology *Composite materials* (pp. 129-167): Springer.

García Santos, A., Gonzalez, N., Javier, F., & Oliver Ramírez, A. (2011). Caracterización física y mecánica de placas de yeso con materiales de cambio de fase indorporadas para almacenamiento de energíatérmica mediante calor latente. *Materiales de Construcción, 61*(303), 465-484.

Matthews, F. L., & Rawlings, R. D. (1999). 10 - Short fibre composites *Composite Materials* (pp. 287-325): Woodhead Publishing.

Misra, M., Pandey, J. K., & Mohanty, A. (2015). *Biocomposites: Design and Mechanical Performance*: Woodhead Publishing.

Mohammed, L., Ansari, M. N., Pua, G., Jawaid, M., & Islam, M. S. (2015). A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications. *International Journal of Polymer Science, 2015*.

Najafi, A., & Khademi-Eslam, H. (2011). Lignocellulosic filler/recycled HDPE composites: Effect of filler type on physical and flexural properties. *BioResources, 6*(3), 2411-2424.

Oktaee, J., Lautenschläger, T., Günther, M., Neinhuis, C., Wagenführ, A., Lindner, M., & Winkler, A. (2017). Characterization of Willow Bast Fibers (Salix spp.) from Short-Rotation Plantation as Potential Reinforcement for Polymer Composites. *BioResources, 12*(2), 4270-4282.

Peters, S. T. (1998). *Handbook of Composites* (2 ed.). Boston, US: Springer US.

Pickering, K. L., Efendy, M. A., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 83*, 98-112.

Ryu, S.-E., Kim, T.-N., & Kang, T.-K. (1997). Pulverization of rice husks and the changes of husk densities. *Journal of materials science, 32*(24), 6639-6643.

Salinas, J. G. P., Salinas, C. F. P., & Miniguano, C. B. C. (2017). Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz. *Enfoque UTE, 8*(3), pp. 1-15.

Ševĉik, L., Lepšík, P., Petrů, M., Mašín, I., & Martonka, R. (2014). *Modern Methods of Construction Design: Proceedings of ICMD 2013*: Springer Science & Business Media.

Zhang, L., Zhong, J., & Ren, X. (2017). Natural Fiber-Based Biocomposites *Green Biocomposites* (pp. 31-70): Springer.